

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

10/538867

BEST AVAILABLE COPY



REC'D 10 FEB 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 13 518.9

**Anmeldetag:** 25. März 2003

**Anmelder/Inhaber:** Hübner Elektromaschinen AG, 10967 Berlin/DE

**Bezeichnung:** Positionsmessverfahren und Positionsmesssystem zur Signalperioden-Vervielfachung

**IPC:** G 01 B 21/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Januar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Klostermeyer



## Zusammenfassung

### Positionsmessverfahren und Positionsmesssystem zur Signalperioden-Vervielfachung

Die Erfindung betrifft ein Positionsmessverfahren und ein Positionsmesssystem (1), durch welche Signale (SIN, COS), welche die Bewegung (8) einer Maßstabsteilung (4) relativ zu einer Signalerzeugungseinheit (7) repräsentieren, verarbeitet werden. Um die Auflösung der Signale (SIN, COS) zu erhöhen, werden von der Vorrichtung (1) Ausgangssignale (SIN', COS') erzeugt, die eine gegenüber den Eingangs-Signalen (SIN, COS) erhöhte Frequenz bzw. vervielfachte Signalperiodenzahl aufweisen. Dadurch können nachgeschaltete Auswerteeinheiten (3) die Position und Geschwindigkeit der Maßstabsteilung (4) genauer erfassen. Die Signalperiodenzahl wird durch Berechnung eines Positionssignals (POS) mit sich anschließender Filterung bzw. Fehlerkorrektur aus den Eingangssignalen (SIN, COS) und durch Auslesen von gespeicherten Tabellen der Ausgangs-Signale (SIN', COS') in Abhängigkeit vom berechneten Positionssignal (POS) erhöht.

(Fig. 2)

1470/23737 DE-085

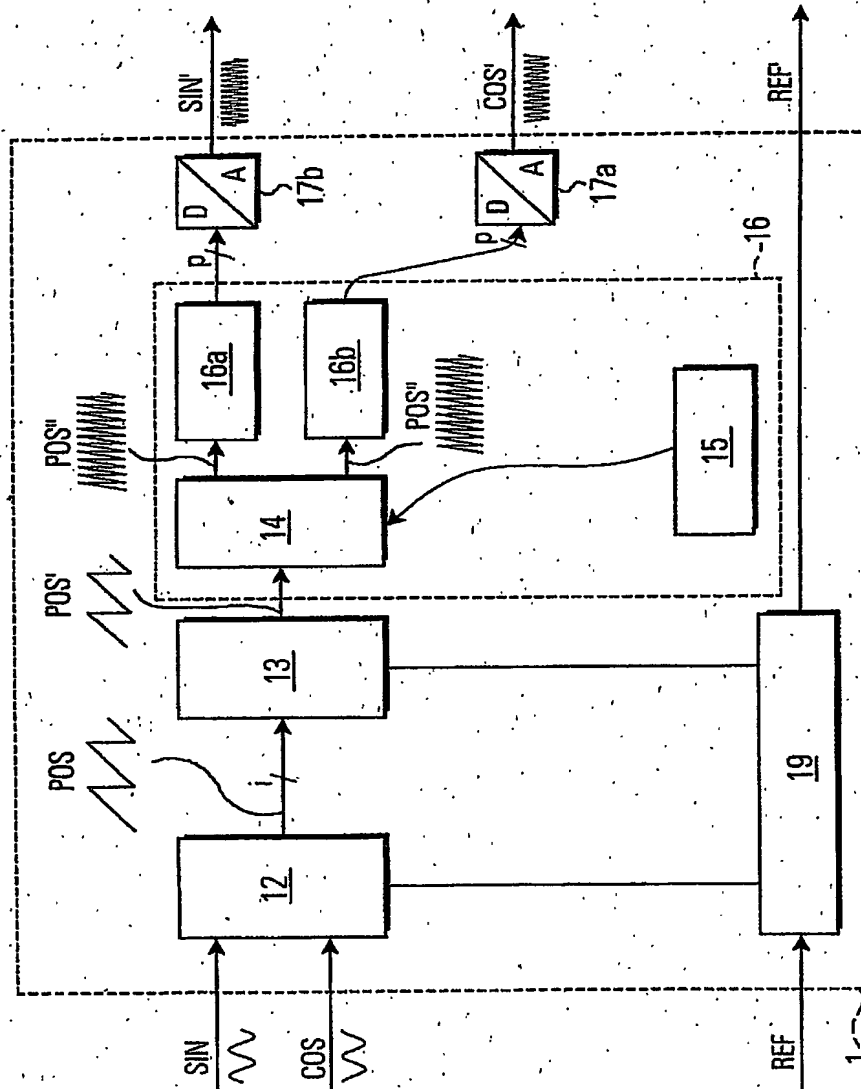


FIG. 2

## Positionsmessverfahren und Positionsmesssystem zur Signalperioden- Vervielfachung

Die Erfindung betrifft ein Positionsmessverfahren und ein Positionsmesssystem, durch welche die Signalperiodenanzahl eines eine Position repräsentierenden Sinus- und Cosinus-Signals vervielfacht werden kann.

Positionsmesssysteme werden üblicherweise zur Lage- bzw. Winkelbestimmung eingesetzt. So muss beispielsweise in Werkzeugmaschinen die Lage des Werkzeuges relativ zum Werkstück genau messbar sein, um hohe Fertigungsgenauigkeiten zu erzielen. Üblicherweise weist ein Positionsmesssystem eine Maßstabsteilung und eine Signalerzeugungseinheit auf, durch die die Bewegung der Maßstabsteilung relativ zur Signalerzeugungseinheit bestimmt und ein die Relativbewegung repräsentierendes Signal ausgegeben wird. Ein solches Signal kann beispielsweise in Form eines Rechtecksignals eine zeitliche Aufeinanderfolge von Impulsen (High-Low-Signal) aufweisen, wobei ein Impuls jeweils dann ausgegeben wird, wenn sich die Maßstabsteilung um eine vorbestimmte Wegstrecke relativ zur Signalerzeugungseinheit bewegt hat. Hierzu können an der Maßstabsteilung in vorbestimmten Abständen Markierungen angebracht sein, die von der Signalerzeugungseinheit erfasst werden und in Abhängigkeit von denen ein Impuls ausgegeben wird.

Die Positionsmesssysteme können entweder eine Rotationsbewegung oder eine translatorische Bewegung erfassen. Rotatorische Bewegungen werden durch Drehgeber, translatorische Bewegungen durch Längenmesssysteme gemessen. Absolute Positionsmesssysteme zeigen im Signal die tatsächliche, absolute Lage der Maßstabsteilung gegenüber der Signalerzeugungseinheit, inkrementale Positionsmesssysteme nur die relative Lageänderung gegenüber einer Ausgangsposition an.

Bei Drehgebern wird üblicherweise pro ganzer Umdrehung eine vorbestimmte Anzahl von High-Low-Signalen abgegeben, beispielsweise 1024 oder 3600 High-Low-Signale. Bei Längenmesssystemen wird pro Längeneinheit eine bestimmte Anzahl von High-Low-Signalen erzeugt, beispielsweise 10 High-Low-Signale pro Millimeter.

2.

Aus der Anzahl der High-Low-Signale pro Zeiteinheit lässt sich dann einfach die Drehzahl bzw. die Relativgeschwindigkeit der Maßstabsteilung gegenüber der Signalerzeugungseinheit berechnen.

Die Positionsmesssysteme können die High-Low-Signale auf optischem, magnetischem, induktivem oder kapazitivem Wege erzeugen, wobei sich die optischen Systeme wegen ihrer hohen Auflösung und Genauigkeit auszeichnen.

Bei den optischen Systemen durchstrahlt beispielsweise das Licht einer Leuchtdiode eine sogenannte Maske, die im geringen Abstand, typischerweise 0,1 mm, über der Maßstabsteilung, beispielsweise einer Inkrementalscheibe oder einem Längenmaßstab, angebracht ist. Die Maßstabsteilung ist in regelmäßigen Abständen mit transparenten und nicht transparenten Markierungen versehen. Wenn die Maßstabsteilung im Zuge der zu erfassenden Bewegung gegenüber der Maske verschoben wird, bilden sich regelmäßige Hell-Dunkel-Bereiche. Diese werden fotoelektrisch durch einen Sensor abgetastet, wobei man ein sinusähnliches Positionssignal erhält, das z.B. durch Komparatoren leicht in die oben beschriebenen High-Low-Impulse umgesetzt werden kann.

Durch entsprechende Anordnung weiterer fotoelektrischer Sensoren wird üblicherweise neben dem ersten sinusähnlichen Signal auch ein zweites um  $90^\circ$  phasenverschobenes cosinusähnliches Signal erzeugt. Dadurch lässt sich die Fahrerrichtung detektieren. Der Vorteil der Sinus- und Cosinus-Signale liegt darin, dass aufgrund der gegenüber den häufig verwendeten High-Low-Impulsen durch Auswertung der Signalamplitude eine wesentlich höhere Positionsauflösung als bei Rechtecksignalen möglich ist. Allerdings erfordert dieses Vorgehen eine aufwendigere Signalverarbeitung.

Allerdings ist bei der Auswertung der Sinus- und Cosinus-Signale darauf zu achten, dass deren Frequenzen durch die nachfolgende Auswertelektronik noch erfasst werden können. Um die Frequenzen eingehender, hochfrequenter Sinus- und Cosinus-Signale von optischen Wegmeßsystemen zu verringern und nachfolgend verarbeiten zu können, sind im Stand der Technik Systeme bekannt, durch die die Auflösung der Positionssignale vergrößert wird. Auf elektronischem Wege wird dies durch die Vorrichtungen und Verfahren der EP 0 872 714 A1, der DE 198 15 438 A1, der US 6,097,318 und der US 6,265,992 B1 erreicht.

Bei einigen Anwendungen sind an die mit optischen Abtastprinzipien arbeitenden Positionsmesssysteme zu stellenden mechanischen Randbedingungen wie z.B. der kleine Abstand von typischerweise 0,1 mm nicht realisierbar, so dass dort andere Abtastverfahren zur Anwendung kommen. Außerdem verbieten sich in vielen Fällen optische Systeme, wie beispielsweise bei der Verwendung von Positionsmesssystemen in Holzbearbeitungsmaschinen, wo die Späne und der Holzstaub die optische Abtastung trotz entsprechender Kapselung behindern. Eine magnetische oder induktive Abtastung bleibt hier unbeeinträchtigt.

Bei einem magnetischen Abtastverfahren besteht die Maßstabsteilung aus periodisch wechselnd magnetisierten Markierungen. Der Abstand zwischen den Markierungen auf der Maßstabsteilung bewegt sich dabei im Millimeter-Bereich, so dass nach einer Faustformel der Abstand zwischen der Signalerzeugungseinheit und der Maßstabsteilung in diesem Größenbereich liegen kann. Die magnetischen Verfahren lassen daher einen größeren Abstand und insbesondere eine größere Abstandsvariation zwischen der Signalerzeugungseinheit und der Maßstabsteilung zu. Der Sensor, beispielweise ausgeführt nach dem magnetoresistiven Prinzip, liefert dann wiederum je magnetischer Markierung ein sinus- und ein cosinusähnliches Signal.

Aufgrund der gröberen Maßverkörperung werden bei magnetischen und induktiven Positionsmesssystemen wesentlich weniger Signale pro Umdrehung bzw. pro Längeneinheit ausgegeben. Um dennoch eine hohe Positionsauflösung erzielen zu können, sind hohe Anforderungen an die Qualität der von einem Positionsmesssystem gelieferten Signale zu stellen: Diese müssen in ihrer Signalamplitude möglichst gleich sein, sollten keinen Signaloffset besitzen, eine möglichst perfekte Sinusform aufweisen, keine Rauschteile besitzen und um möglichst exakt 90 Grad gegeneinander in der Phase verschoben sein. Zusätzlich darf auch die Auswerteeinheit, die die Sinus- und Cosinus-Signale verarbeitet, keine derartigen oder weitere Fehler aufweisen, da anderenfalls nur eine mit Fehlern behaftete Positionsbestimmung möglich ist.

Da die Fehlerfreiheit der Signale des Messsystems und der Auswerteeinheit, die üblicherweise Bestandteil eines Servoreglers bzw. einer Steuerung ist, in der Praxis nicht oder nur unzureichend gewährleistet werden kann, wäre es wünschenswert, aus relativ

grobe, sinusähnlichen Signalen durch entsprechende Signalverarbeitung qualitativ hochwertige sinusähnliche Signale mit einer höheren Anzahl von Signalperioden je Weg- bzw. Winkelstück zu erzeugen. Die Fehler der üblicherweise eingesetzten Auswerteeinheiten sind dann weit weniger gewichtig.

Im Stand der Technik sind Verfahren zur Erhöhung der Signalfrequenz, bzw. zur Signalperioden-Vervielfachung in der EP 0 552 726 B1 und in der EP 1 236 973 A2 beschrieben.

Bei dem Verfahren und der Vorrichtung der EP 0 552 726 B1 werden das Eingangs-Sinus- und Eingangs-Cosinus-Signal multiplikativ und additiv so miteinander verknüpft, dass durch Implementierung trigonometrischer Formeln die Frequenz dieser Signale erhöht wird. Dabei finden die Formelberechnungen an den analogen Signalen statt. Dies erfordert jedoch aufwändige Schaltungen, die selbst wiederum Fehler produzieren.

In der EP 1 236 973 A2 wird die relative Phasenlage des Sinus- und Cosinus-Signals dazu ausgenutzt, Rechtecksignale höherer Frequenz zu erzeugen. Der Nachteil dieser Vorrichtung liegt darin, dass die erzeugten Rechtecksignale nur eine vergleichsweise geringe Positionsauflösung zulassen bzw. die maximale Verfahrensgeschwindigkeit bzw. Drehzahl durch die dann auftretenden sehr hohen Frequenzen der Rechtecksignale beschränkt ist.

In Anbetracht der Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren zur Vervielfachung einer Signalperiode liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein Positionsmessverfahren und eine Positionsmessvorrichtung zu schaffen, die fehlerrobust die Anzahl der Signalperioden in Signalen von Weg- und Winkelmesssystemen vervielfachen.

Diese Aufgabe wird beim erfindungsgemäßen Positionsmessverfahren zur Signalperioden-Vervielfachung dadurch gelöst, dass aus einem Eingangs-Sinus-Signal und einem Eingangs-Cosinus-Signal ein Positionssignal berechnet wird, und wobei in Abhängigkeit vom Positionssignal ein Ausgangs-Sinus-Signal und ein Ausgangs-Cosinus-Signal mit jeweils einer gegenüber der Signalperiode der Eingangs-Signale vervielfachten Anzahl von Signalperioden ausgegeben werden. Beim erfindungsgemäßen Positionsmesssys-

tem findet die Berechnung des Positionssignals in einer Berechnungseinheit und die Erzeugung der Ausgangssignale in einer Signalerzeugungseinheit statt.

Durch diese Lösung ist es auf einfache Weise möglich, die Auflösung des Positionsmessverfahrens bzw. des Positionsmesssystems zu erhöhen. Durch die Bildung des Positionssignals aus dem Eingangs-Sinus-Signal und dem Eingangs-Cosinus-Signal lassen sich Fehler, die nur in jeweils einem der beiden Eingangs-Signale enthalten sind, leicht eliminieren, so dass sie nicht in den Ausgangs-Signalen enthalten sind. Dadurch kann die Genauigkeit in dem in Abhängigkeit von dem Positionssignal gebildeten Ausgangs-Sinus-Signal und Ausgangs-Cosinus-Signal erhöht werden.

Diese einfache Lösung kann durch die folgenden Ausgestaltungen hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Fehlerrobustheit weiter verbessert werden. Die einzelnen Ausgestaltungen sind dabei jeweils unabhängig voneinander kombinierbar.

Bevorzugt wird das Positionssignal aus dem Arkustangens (*atan*) des Quotienten aus dem Eingangs-Sinus-Signal und dem Eingangs-Cosinus-Signal gebildet. Der *atan* kann durch Auslesen einer Look-up-Tabelle bestimmt oder z.B. durch den sogenannten Cordic-Algorithmus berechnet werden. Daneben können auch andere Verfahren zum Einsatz kommen. Beispielsweise eignen sich auch sogenannte Nachlaufverfahren.

Die Berechnung des *atan* des Quotienten des Eingangs-Sinus-Signals und des Eingangs-Cosinus-Signals bietet den erheblichen Vorteil, dass gleichzeitige Amplitudenschwankungen in den Eingangs-Signalen keine Fehler in dem daraus berechneten Positionswert bewirken. Bei vielen anderen Verfahren kann dies nicht gewährleistet werden.

Der so bestimmte Positionswert kann unter Verwendung eines schnellen Digitalfilters in seiner Auflösung erhöht werden, wobei gleichzeitig durch den Digitalfilter höherfrequente Störungen unterdrückt werden können. Unter der Erhöhung der Auflösung ist dabei eine Darstellung des Positionswertes mit einer erhöhten Anzahl von Datenbits zu verstehen.

So können in einer vorteilhaften Ausgestaltung in einem Speicher der Vorrichtung bzw. des Signalgenerators zwei Ausgangstabellen vorgesehen sein, die jeweils einem Aus-



gangs-Signal zugeordnet sind und parallel adressiert und ausgelesen werden. Durch diese Maßnahme kann auf einfache Weise eine gleichphasige Erzeugung der Ausgangs-Signale und eine hohe Phasentreue auch bei sehr hohen Auslesefrequenzen sichergestellt werden.

Durch die hochaufgelöste Berechnung des Positionssignals, das den Verlauf der Lage des Messmittels über die Zeit als Digitalwert wiedergibt, kann die Frequenzerhöhung in den beiden Ausgangs-Signalen zuverlässig durchgeführt werden. Um den Berechnungsaufwand zu minimieren, können die Ausgangstabellen in der wenigstens einen Ausgangs-Tabelle gespeichert sein, so dass diese Tabellen lediglich ausgelesen werden müssen. Selbstverständlich ist aber auch eine Berechnung eines Sinus- und eines Cosinussignals aus dem hochaufgelösten Positionswert durch den Signalgenerator möglich.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann der hochaufgelöste momentane Wert des Positionssignals in Form eines digitalen  $k$ -Wortes, also einer digitalen Zahl aus  $k$  Bits, ausgegeben werden, wobei aus dem  $k$ -Wort lediglich  $m$  aufeinanderfolgende Bits ausgelesen werden, wobei ( $m < k$ ) für ganzzahlige positive und ansonsten beliebige Werte  $k$  und  $m$  gilt. In Abhängigkeit von dem aus dem längeren  $k$ -Wort ausgelesenen  $m$ -Wort werden das Ausgangs-Sinus-Signal und das Ausgangs-Cosinus-Signal erzeugt, vorzugsweise indem die Ausgangstabelle durch das  $m$ -Wort adressiert wird.

Der Vorteil bei dieser Ausgestaltung liegt darin, dass die Frequenzvervielfachung auf sehr leicht zu implementierende Weise durch die Position des  $m$ -Wortes innerhalb des  $k$ -Wortes eingestellt werden kann. Überraschend hat sich nämlich ergeben, dass eine Frequenzerhöhung um den Faktor  $2^{(k-m)}$  zwischen den Eingangs- und Ausgangs-Signalen erhalten wird, wenn das höchstwertige Bit des  $m$ -Wortes an der Position  $k_m$ ,  $k_m \leq k$ , liegt. Die aus dem  $m$ -Wort gebildete Signalfolge ändert sich mit dieser erhöhten Periodizität gegenüber der Periodizität des Positionssignals.

Eine Reihe von weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen befasst sich mit der Aufbereitung der Eingangs-Signale, um das Positionssignal möglichst genau berechnen zu können. Auf diese Weise wird verhindert, dass sich die in den Eingangs-Signalen vorhandenen Fehler verstärkt in den Ausgangs-Signalen mit vervielfachter Signalperiode wiederfin-

den. Alle diese Filterungsvorgänge vor der eigentlichen Frequenzerhöhung finden in einer Signalkonditionierungseinheit statt.

So kann in einer Ausführungsform eine Signalkonditionierungseinheit vorgesehen sein, durch die Abweichungen im Eingangs-Sinus und Eingangs-Cosinus von der Soll-Form berechenbar und zur Ausregelung dieser Abweichungen an den Eingangs-Sinus und den Eingangs-Cosinus zurückführbar sind. Grundsätzlich kann die rückgekoppelte Konditionierung der Eingangs-Signale vor und/oder nach deren Digitalisierung durch Analog-Digital-Wandler stattfinden, d.h. die Signalkonditionierung kann rein analog, oder rein digital bzw. gemischt analog und digital ausgeführt sein. Aufgrund des einfachen Aufbaus ist die Ausregelung des bereits digitalisierten Eingangs-Signale bevorzugt.

Die Fehlerkorrektur bei der Konditionierung kann die Erfassung von Abweichungen der Amplitude des Eingangs-Sinus von der Amplitude des Eingangs-Cosinus und das Ausregeln eventueller Amplitudenunterschiede, bzw. das Einregeln beider Signalamplituden auf einen gleichen Sollwert, umfassen. Ähnlich können Signal-Offsets, d.h. Abweichungen des über eine oder mehrere Perioden berechneten Mittelwerts des Eingangs-Sinus-Signals und des Eingangs-Cosinus-Signals von einem Soll-Mittelwert, beispielsweise einer vorbestimmten Null-Lage, berechnet und ausgeregelt werden. Auch die relative Phasenlage des Eingangs-Sinus-Signals zum Eingangs-Cosinus-Signal kann im Zuge der Signalkonditionierung erfasst und Abweichungen von der Soll-Phasenlage  $90^\circ$  können insbesondere durch gegenseitige Addition eines Teils des jeweils anderen Eingangssignals ausgeglichen werden. Diese Schritte können in der Interpolationseinheit ausgeführt werden.

Des weiteren kann die Signalkonditionierungseinheit einen digitalen Filter, insbesondere einen Tiefpass-Filter, jeweils für das bereits mit hoher Abtastrate digitalisierte Eingangs-Sinus- und das Eingangs-Cosinus-Signal umfassen, der hochfrequente Störungen und Rauschanteile, hervorgerufen beispielsweise durch Frequenzumrichter reduziert und damit die Qualität der digitalisierten Eingangssignale erhöht. Die Grenzfrequenz dieses Digitalfilters, das in unterschiedlichster Art, vorzugsweise aber als einfach zu realisierendes digitales Mittelwertfilter realisiert werden kann, kann so bemessen sein, dass diese auch bei maximaler Verfahrensgeschwindigkeit, bzw. Drehzahl unter der dann auftretenden Frequenz der Eingangssignale liegt.

Unabhängig von der Vorkonditionierung kann in weiteren, an sich vorteilhaften Ausgestaltungen ein weiterer Verarbeitungsschritt vorgesehen sein, durch den Fehleranteile herausgefiltert werden, die der Signalquelle innewohnen. Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung findet eine solche vorzugsweise digitale Filterung erst nach der Berechnung des digitalen Positionssignals statt. Gegenüber einer Filterung jeweils der beiden Eingangs-Signale kann dadurch der Rechenaufwand verringert werden.

Dabei können die vom Messsystem und von den Umgebungsbedingungen abhängigen Fehleranteile beispielsweise dadurch herausgefiltert werden, dass das aus den Eingangs-Signalen, die auch wie oben beschrieben vorverarbeitet sein können, berechnete Positionssignal mit vorab gespeicherten Fehlercharakteristiken verglichen wird. Insbesondere können für verschiedene, messsystemtypische Fehler verschiedene Charakteristiken abgespeichert sein. Stimmt das Positionssignal mit einer vorab bestimmten Fehlercharakteristik oder mit mehreren vorab bestimmten Fehlercharakteristiken überein, so kann durch in Abhängigkeit von dieser Fehlercharakteristik bestimmte, vorgegebene Algorithmen oder durch Verwendung von vorab abgespeicherten Look-up-Tabellen der signalgeberabhängige Fehler im Positionssignal eliminiert werden.

Um die vorab gespeicherten Fehlercharakteristiken und die dazugehörigen Eliminations-Algorithmen und/oder Look-up-Tabellen zu erzeugen, werden die Messsysteme experimentell auf systembedingte Fehler untersucht. In Abhängigkeit von den bei diesen Untersuchungen entdeckten Fehlern werden beispielsweise Look-up-Tabellen generiert, die Werte enthalten, die diese Fehler berücksichtigen und damit die fehlerbehafteten Werte korrigieren.

Die im Positionssignal auftretenden, messsystemabhängigen Fehler- und insbesondere Rauschanteile (auch Quantisierungsrauschen) können durch einen oder mehrere Digitalfilter, beispielsweise digitale Tiefpass-Filter, herausgefiltert werden. Die Grenzfrequenz der Tiefpass-Filter muss jedoch höher als die für die nachfolgende Regelung relevante Frequenz sein.

Insbesondere besteht eine Möglichkeit zum Herausfiltern der geberabhängigen Fehler-signale darin, dass aus dem digitalen Positionssignal ein gleitender Mittelwert aus mehreren zeitlich kurz aufeinanderfolgenden Werten gebildet wird. Durch diese Maßnahme lassen sich hochfrequente Rauschanteile herausfiltern.

Ein weiterer Vorteil der Bildung eines gleitenden Mittelwertes liegt darin, dass der Mittelwert mit einer Auflösung angegeben werden kann, die größer ist als die Auflösung der einzelnen zu mitteln den Werte. Wird beispielsweise der Mittelwert aus mehreren zeitlich kurz aufeinanderfolgenden Positionssignalen gebildet, die jeweils eine Auflösung von  $i$  Bits aufweisen, so kann der berechnete Mittelwert eine Auflösung von  $k$  Bits aufweisen, wobei  $k$  größer  $i$  gilt.

In Abhängigkeit von dem in der Signalkonditionierungseinheit und gegebenenfalls im Digitalfilter von signalgeberabhängigen Fehler- und Rauschanteilen befreiten Positionssignal, insbesondere von dem durch Mittelwertbildung berechneten hochaufgelösten Positionssignal, wird dann in der Signalerzeugungseinheit das Ausgangs-, Sinus- und Cosinussignal erzeugt. Insbesondere kann das Positionssignal, wie oben erwähnt, zur Adressierung der Ausgangs-Tabellen des Ausgangs-Sinus und des Ausgangs-Cosinus verwendet werden.

Falls für das Herausfiltern der signalgeberabhängigen Fehleranteile eine Mittelwertbildung vorgenommen wurde, so kann, um die Genauigkeit der Berechnung des Positionssignals weiter zu verbessern, in einer vorteilhaften Weiterbildung die aufgrund der Mittelwertbildung eingetretene Laufzeitverzögerung kompensiert werden. Bei einer derartigen Kompensation der Laufzeitverzögerung wird der Mittelwert in Abhängigkeit vom bisherigen Signalverlauf und in Abhängigkeit von der Anzahl der in den Mittelwert einfließenden Stützpunkte korrigiert, um möglichst nahe an den tatsächlichen Momentanwert zu kommen.

Das Ausgangs-Sinus-Signal und das Ausgangs-Cosinus-Signal, die wie oben erwähnt jeweils eine höhere Frequenz aufweisen als das Eingangs-Sinus-Signal bzw. das Eingangs-Cosinus-Signal, können schließlich mittels Digital-Analog-Wandler in analoge Signale umgewandelt werden und als analoge Signale an eine, üblicherweise in der Regelbaugruppe oder der Steuerung befindlichen, Auswerteeinheit geleitet werden.

Parallel zur Verarbeitung der Eingangs-Signale, d.h. des Eingangs-Sinus-Signals und des Eingangs-Cosinus-Signals, können auch die Referenz-Signale in ihrer Phasenlage und Impulsdauer an die erhöhte Signalperioden-Zahl angepasst werden.

Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft an einer Ausführungsform mit Bezug auf die Zeichnungen erläutert. Gemäß den oben beschriebenen möglichen Ausgestaltungsvarianten können dabei einzelne Merkmale bei der beschriebenen Ausführungsform unabhängig voneinander hinzugefügt oder weggelassen sowie kombiniert werden.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Signalperioden-Vervielfachung bei der Verwendung mit einer Positionsmesseinrichtung;
- Fig. 2 ein schematisches Blockdiagramm mit Einzelheiten des Aufbaus der Vorrichtung zur Signalperioden-Vervielfachung der Fig. 1;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung des Aufbaus und der Funktion einer Ausführungsform eines Signalgenerators der Fig. 2;
- Fig. 4 ein schematisches Blockdiagramm mit Einzelheiten des Aufbaus einer Positionsbestimmungseinheit der Vorrichtung der Fig. 2.

In Fig. 1 ist das erfindungsgemäße System zur Vervielfachung der Signalperiode schematisch als Funktionsblock 1 zwischen einem Wegmessmittel 2 und einer Auswerteeinheit 3 gezeigt.

Das Wegmessmittel 2 umfasst eine Maßstabsteilung 4, die in regelmäßigen Abständen mit Markierungen 5, 6 versehen ist, sowie einen relativ dazu beweglichen Positionssensor 7. Die Maßstabsteilung 4 wird durch den Positionssensor 7 abgetastet. Das Wegmessmittel bzw. der Signalgeber 2 liefert dem System 1 ein Eingangs-Sinus-Signal SIN und ein Eingangs-Cosinus-Signal COS.

Bei einem optischen Signalgeber können die Markierungen 5, 6 Hell-Dunkel-Bereiche bzw. transparente und nicht transparente Bereiche darstellen; bei magnetischer Funktionsweise sind die Markierungen 5, 6 Bereiche, die unterschiedlich magnetisiert sind. Ebenso sind andere Funktionsprinzipien wie z.B. induktive und kapazitive Prinzipien möglich. Allen Prinzipien gemeinsam ist, dass bei der Relativbewegung zwischen der Maßstabsteilung 4 und dem Positionssensor 7, das Wegmessmittel 2 periodisch modulierte, analoge Inkrementalsignale SIN und COS erzeugt. Über diese steht sowohl die Positionsinformation bezüglich der Relativlage von Maßstabsteilung 4 und Positionssensor 7 als auch die entsprechende Information über die Bewegungsrichtung zur Verfügung.

Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist ein Wegmessmittel 2 dargestellt, die über eine linear ausgebildete Maßstabsteilung 4 eine lineare Relativbewegung erfasst. Alternativ kann auch eine Maßstabsteilung 4 vorgesehen sein, welche eine rotatorische Bewegung erfasst. In diesem Fall wird anstelle der linearen Maßstabsteilung 4, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, eine scheibenförmige Maßstabsteilung verwendet. Das Abtastprinzip bleibt dabei im Wesentlichen gleich.

Zusätzlich zu den Signalen SIN und COS kann über eine oder mehrere Markierungen 9 ein Referenzsignal REF von einem Sensor 10 zur Verfügung gestellt werden. Das Referenzsignal REF dient dazu, eine oder mehrere vordefinierte Stellungen 11 als Referenzpositionen zu markieren.

Die Signale SIN, COS und REF werden dem System 1 zugeführt, das aus den Eingangs-Signalen veränderte Ausgangssignale SIN', COS' und REF' erzeugt. Die Ausgangs-Signale SIN' und COS' weisen dabei eine gegenüber den Eingangs-Signalen SIN und COS erhöhte Periodenzahl, d.h. erhöhte Frequenz, auf. Das Signal REF' wird von der Vorrichtung 1 entsprechend angepasst.

Durch die erhöhte Periodenzahl ermöglichen die Ausgangs-Signale SIN' und COS' gegenüber den Eingangs-Signalen SIN und COS eine um den Faktor der Periodenanzahlvervielfachung verbesserte Auflösung der Lage des Wegmessmittels 4. Dadurch lassen

sich in der Fig. 1 nicht gezeigte Antriebe, Achsen bzw. Positioniereinrichtungen u.a., an welche das Positionsmesssystem angebaut ist, genauer regeln bzw. steuern.

Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau einer Ausführungsform der Vorrichtung 1 der Fig. 1.

Die Eingangs-Signale SIN und COS werden zunächst einer Interpolationseinheit 12 zugeführt, wo sie digitalisiert, fehlerkorrigiert und in ein für die Position des Messmittels repräsentatives Positionssignal POS mit einer Auflösung von  $i$  Bit umgewandelt werden. Das Positionssignal POS kann beispielsweise eine Auflösung von ( $i = 10$ ) Bit aufweisen. Im Positionssignal POS ist die Lageänderung der Maßstabsteilung 4 relativ zur Signalerzeugungseinheit 7 abgebildet. Bei konstanter Bewegung in einer Richtung ergeben sich dabei sägezahnförmige Signalverläufe.

Das Positionssignal POS wird anschließend in ein digitales Filter 13 geleitet, wo verschiedenartige Fehler herausgefiltert und durch die Filterung eventuell entstehende Signalverzögerungen ausgeglichen werden. Im Filter 13 werden insbesondere Stör- und Rauschanteile im Positionssignal POS, hervorgerufen durch entsprechende, dem Positionsmesssystem 2 aufgrund seiner Bauart immanente Stör- und Rauschanteile in den Eingangs-Signalen, ausgeglichen. Außerdem wird die Auflösung des Positionssignals erhöht. Als Ergebnis der Filterung erhält man einen korrigierten, hochaufgelösten Positionswert POS', der in ein Register 14 abgelegt wird.

Der korrigierte Positionswert POS' ist, wie in Fig. 3 dargestellt ist, im Register 14 als ein digitaler Wert aus  $k$  Bits, im Folgenden als  $k$ -Wort bezeichnet, abgelegt, vorzugsweise im Integer-Format. Da durch die Korrekturalgorithmen im digitalen Filter 13 die Genauigkeit des korrigierten Positionssignals POS' gegenüber dem Positionssignal POS aus der Interpolationseinheit erhöht ist, gilt die Beziehung ( $k > i$ ).

Im nächsten Schritt findet im Signalgenerator des Systems 1 die Frequenzerhöhung bzw. Perioden-Vervielfachung statt, die im folgenden genauer erläutert wird.

Aus dem  $k$ -Wort im Register 14 werden von einer Ausleseeinheit 15  $m$  zusammenhängend aufeinanderfolgende Bits, im Folgenden als  $m$ -Wort bezeichnet, mit vorzugsweise

mindestens derselben Taktrate ausgelesen, mit der der hochaufgelöste Positionswert POS' im Register 14 aktualisiert wird.

Der Wert des  $m$ -Wortes ändert sich periodisch mit einer höheren Frequenz als der Wert des  $k$ -Wortes, wenn das höchstwertige Bit des  $m$ -Wortes nicht auf das höchstwertige Bit des  $k$ -Wortes fällt:

Die Lage des ausgelesenen  $m$ -Wortes im  $k$ -Wort wird durch die Lage  $k_m$  seines höchstwertigen Bits  $m$  bestimmt. Das niederwertigste Bit des  $m$ -Wortes weist dabei die Lage  $k_l$  im  $k$ -Wort auf, wobei die Beziehung  $(k_m - k_l = m)$  gilt.

Wird die Lage des  $m$ -Wortes im  $k$ -Wort so gewählt, dass die Beziehung  $(k_m < k)$  gilt, so erhöht sich die Frequenz, mit der sich das ausgelesene  $m$ -Wort ändert, um den Faktor  $2^{(k - km)}$  gegenüber der Frequenz, mit der das sägezahnähnliche Positionssignal POS' bei konstanter Relativbewegung von Maßstabteilung und Signalerzeugungseinheit variiert. Die erhöhte Signalperiodenanzahl des  $m$ -Wortes ist in Fig. 2 schematisch durch das Signal POS" dargestellt. Hat mit anderen Worten die Frequenz des Positionssignals POS', die insbesondere der Frequenz der Eingangs-Signale SIN und COS entsprechen kann, einen Wert  $f_P$  und die Frequenz des frequenzerhöhten Positionssignals POS" einen Wert  $f_{P''}$ , so gilt für den Faktor  $n$  der Frequenzerhöhung:

$$n = (f_{P''} / f_P) = 2^{(k - km)} \quad (1)$$

Anhand der Formel (1) ist zu erkennen, dass sich die Signalfrequenz des Signals POS" durch die Position des  $m$ -Wortes innerhalb des  $k$ -Wortes bestimmt. Zur Erläuterung dieses Zusammenhanges sind in Fig. 3 zwei unterschiedlich positionierte  $m$ -Wörter innerhalb des  $k$ -Wortes dargestellt, die jeweils zu unterschiedlichen Frequenzen führen.

Das erste  $m$ -Wort beginnt an der Position  $(k_l = 1)$  und endet an der Position  $(k_{m1} = m)$ . Bei dieser Variante werden also die  $m$  niederwertigsten Bits des  $k$ -Wortes ausgelesen. Die Signalperiode, mit der sich das Bit  $k_{m1}$  im  $k$ -Wort ändert und damit die Signalperiode des  $m$ -Wortes bestimmt, beträgt in diesem Fall das  $2^{(k - km1)}$ -fache, also das  $2^{(k - m)}$ -fache, der Signalperiode des  $k$ -Wortes. Da in dieser Position des  $m$ -Wortes die Differenz  $(k -$



$k_{m1}$ ) für gegebenes  $m$  und  $k$  maximal ist, stellt dies die maximal mögliche Periodenvervielfachung dar.

Im zweiten Fall erstreckt sich das  $m$ -Wort innerhalb des  $k$ -Wortes von der Anfangsposition beim Bit  $k_{12}$  bis zum Bit  $k_{m2} = (k - 1)$ . In diesem Fall ist eine Signalperiodenvervielfachung um den Faktor  $2^{(k - k_{m2})} = 2^{[k - (k - 1)]} = 2^1 = 2$  möglich. In diesem Fall wird also eine Frequenzverdopplung erreicht.

Fällt das höchstwertige Bit des  $m$ -Wortes, also  $k_m$ , mit dem höchstwertigen Bit des  $k$ -Wortes, also  $k$ , zusammen, so entspricht die Signalperiode des  $m$ -Wortes der Signalperiode des  $k$ -Wortes. In diesem Fall findet durch die Vorrichtung 1 lediglich eine Fehlerkorrektur durch die Interpolationseinheit 12 und den Digitalfilter 13 statt.

Das oben beschriebene Verfahren zur Frequenzerhöhung lässt auf einfach zu implementierende Weise eine einstellbare Frequenzerhöhung zu: Durch eine einfache Bit-Verschiebung, angedeutet durch den Doppelpfeil 15' in Fig. 2, des  $m$ -Wortes innerhalb des  $k$ -Wortes lassen sich Frequenzvervielfachungen in Zweierpotenz-Schritten zwischen 2 und  $2^{(k - m)}$  erreichen. Die Verschiebung des  $m$ -Wortes innerhalb des  $k$ -Wortes kann durch einfache Bit-Maskierung und Bit-Verschiebung durch die Ausleseeinheit 15 erfolgen.

Das Ausgangs-Sinus-Signal SIN' wird in Abhängigkeit vom  $m$ -Wort durch eine Sinus-Erzeugungseinrichtung 16a, das Ausgangs-Cosinus-Signal COS' durch eine Cosinus-Erzeugungseinrichtung 16b erzeugt. Hierzu wird beispielsweise das  $m$ -Wort von der Ausleseeinheit zur Adressierung von Ausgangs-Signal-Tabellen 16a, 16b in der Sinus- bzw. Cosinus-Erzeugungseinrichtung verwendet, die in der Vorrichtung 1 in einem flüchtigen oder nicht-flüchtigen Speicher abgelegt sind. Die Tabelle 16b enthält beispielsweise in Form eines eindimensionalen bzw. eindimensional adressierbaren Feldes die aufeinanderfolgenden digitalen Werte eines Cosinus-Signals COS' in einer Auflösung von  $p$  Bits. Die Bit-Auflösung  $p$  des Ausgangs-Signals COS' ist unabhängig von der Bit-Auflösung  $i$  des Eingangs-Signals COS oder der Bit-Auflösung  $k$  des Positionssignals POS". Die Ausgangs-Signal-Tabelle 16b enthält entsprechend ein Ausgangs-Sinus-Signal SIN'.

Aufgrund der Phasenverschiebung zwischen der Sinus- und Cosinus-Funktion kann natürlich auch lediglich eine einzige Tabelle 16 (nicht gezeigt) verwendet werden kann. Bei dieser Variante wird die Tabelle zur Erzeugung des SIN'- und des COS'-Signals an zwei im konstanten Abstand voneinander liegenden Positionen ausgelesen. Dieser Abstand entspricht unter Berücksichtigung der Auslesefrequenz der gerade dem Phasenversatz von  $90^\circ$  zwischen Sinus und Cosinus. Ebenso ist es denkbar, anstelle der Erzeugung des SIN'- und des COS'-Signals durch die Tabelle 16 bzw. die Tabellen 16a und 16b einen Berechnungsalgorithmus zu verwenden. Dazu kann vorzugsweise der Cordic-Algorithmus herangezogen werden.

Das Register 14, die Sinus-Erzeugungseinrichtung 16a und die Cosinus-Erzeugungseinrichtung 16b sowie, bei entsprechender Ausführung, die Auslese- bzw. Adressiereinheit 15 können funktionell zu einer Signalerzeugungseinheit 16 zusammengefasst werden, die in Abhängigkeit vom Positionssignal die Ausgangssignale erzeugt.

Jede der beiden Ausgangs-Tabellen 16a, 16b weist entsprechend dem Wertebereich des  $m$ -Wortes eine Anzahl von  $2^m$  tabellierten Sinus- bzw. Cosinus-Werten auf und gibt vorzugsweise den vollständigen Verlauf einer Periode des jeweiligen Sinus- bzw. Cosinus-Signals wieder. Folglich ist die Periode des jeweiligen Sinus- und Cosinus-Signals SIN' und COS' in den Tabellen 16a, 16b mit  $2^m$  aufeinanderfolgenden Stützstellen aus jeweils  $p$  Bits aufgelöst.

Der Wert des  $m$ -Wortes dient der Adressierung der Ausgangs-Tabellen 16a, 16b. Dies ist in der Fig. 3 durch die Darstellung des Wertes des ausgelesenen  $m$ -Wortes in der Form \* („Wert des  $m$ -Wortes“) wiedergegeben. Hat das ausgelesene  $m$ -Wort beispielsweise den Zahlenwert 0, so wird der an der Position 0 gelegene Wert der beiden Ausgangs-Tabellen 16a, 16b ausgelesen. Dieser Wert ist in Fig. 3 symbolisch mit \*(0) dargestellt. Maximal kann das  $m$ -Wort den Wert  $(2^m - 1)$  annehmen, wenn nämlich sämtliche Bits des  $m$ -Wortes auf 1 gesetzt sind. In diesem Fall wird der letzte Wert der jeweiligen Tabelle 16a, 16b an der Position  $(2^m - 1)$  ausgelesen. Dieser Wert ist in Fig. 3 symbolisch durch  $*(2^m - 1)$  wiedergegeben.

Die jeweils von der Ausgangs-Tabelle 16a, 16b ausgelesenen Werte werden schließlich jeweils einem Digital-Analog-Wandler 17a, 17b zugeführt, der diese in Analog-Signale

umwandelt. Die analogen Signale werden dann aus der Vorrichtung 1 geleitet. Zuvor können sie durch in der Fig. 2 nicht gezeigte Verstärker Schaltungen auf standardisierte Signalpegel gesetzt und durch ebenfalls nicht dargestellte Filter geglättet werden. Gleichfalls kann anstelle der Digital-Analog-Wandler jeweils ein der Werte der Ausgangstabelle 16a und 16b entsprechendes Pulsmuster (PWM) ausgegeben werden, das mit hoher Frequenz erzeugt wird und durch einen Tiefpass gefiltert die Signale SIN' und COS' erzeugt.

Die Vorrichtung 1 enthält schließlich eine Einheit 19, mit der das Referenzsignal REF an die veränderten Signale SIN' und COS' angepasst wird. Das Referenzsignal REF' wird durch die Einheit 19 neu synthetisiert, so dass es nur in den Quadranten der Signale SIN' und COS' auftritt, die der Lage der ursprünglichen Quadranten des Signals REF in den Eingangs-Signalen SIN und COS entsprechen. Hierzu wird durch die Einheit 19 der durch die Interpolationseinheit 12 interpolierte und das digitale Filter 13 gefilterte Positionswert POS' verwendet.

Mit Bezug auf die Fig. 4 werden nun Aufbau und Funktion einer Ausführungsform der Interpolationseinheit 12 und des digitalen Filters 13 erläutert. Die Interpolationseinheit 12 und das digitale Filter 13 sind funktionell Teil einer Positionsbestimmungseinheit 20, durch die das korrigierte und hochaufgelöste Positionssignal POS' erzeugt wird, dessen Signalperiode noch der Signalperiode der Eingangs-Signale SIN und COS entspricht, dessen Auflösung mit  $k$  Bit jedoch erhöht ist.

Die analogen Eingangs-Signale SIN und COS aus dem Positionsmesssystem 2 werden der Interpolationseinheit 12 zugeführt, wo sie in einer Eingangsschnittstelle 21 durch jeweils einen Analog-Digital-Wandler 22a, 22b getrennt digitalisiert und in digitaler Form einer Signalkonditionierungseinheit 23 zugeführt werden.

Anstelle der beiden separaten Leitungen für das Sinus-Eingangs-Signal SIN und das Cosinus-Eingangs-Signal COS kann auch eine einzige Datenleitung vorgesehen sein, wobei die Eingangs-Signale SIN und COS dann im Multiplex-Verfahren verarbeitet werden können. Ebenso können die Signale SIN und COS bereits in digitaler Form vorliegen, so dass auf die Analog-Digital-Wandler 22a, 22b verzichtet werden kann.

Die Signalkonditionierungseinheit 23 dient dazu, die Signalqualität der Eingangs-Signale SIN und COS vor der weiteren Verarbeitung zu verbessern. Die Signalkonditionierungseinheit 23 berechnet Abweichungen von Soll-Zuständen der Eingangs-Signale SIN und COS und korrigiert die Eingangs-Signale SIN und COS.

Die Interpolationseinheit 12 kann insbesondere die Funktionen aufweisen, die in Kirchner, R., und Hiller, B., „Oversamplingverfahren zur Verbesserung der Erfassung von Lage und Drehzahl an elektrischen Antrieben mit inkrementellem Gebersystem“, in: SPS/IPC/Drives, Nürnberg 1999, Conf.-rec. pp. 598-606, beschrieben sind.

Beispielsweise werden durch die Signalkonditionierungseinheit 23 jeweils die Signal-Offsets, d.h. z.B. die Mittelwerte der Eingangs-Signale SIN und COS über einen vorbestimmten Zeitraum, berechnet und bei Abweichung von ihren Soll-Wert über die Kompensationseinheiten 24a, 24b korrigiert. Für jedes Eingangs-Signal SIN bzw. COS findet der Abgleich getrennt statt. Der Abgleich ist in Fig. 3 schematisch durch die punktierten Pfeile 25a, 25b dargestellt.

Bei der Ausführungsform der Fig. 4 sind die Kompensationseinheiten 24a, 24b im analogen Signalweg von jeweils SIN und COS dargestellt. Natürlich kann eine Offset-Korrektur auch an den bereits digitalisierten Signalen SIN und COS vorgenommen werden.

Durch die Signalkonditionierungseinheit 23 werden auch die relativen Signal-Amplituden des Eingangs-Sinus-Signals SIN und des Eingangs-Cosinus-Signals COS bestimmt. Im Idealzustand weisen beide Eingangs-Signale SIN und COS die gleiche Amplitude auf. Abweichungen der Amplitude der tatsächlich vorliegenden Signale SIN und COS werden ebenfalls durch Rückkopplung von den Kompensationseinheiten 24a, 24b ausgeglichen.

Außerdem können von der Signalkonditionierungseinheit 23 Phasenfehler in den Eingangs-Signalen SIN und COS erfasst und über die Kompensationseinheiten 24a, 24b korrigiert werden. Nicht exakt sinusförmige Verläufe der Eingangs-Signale SIN und COS können durch eine in der Signalkonditionierungseinheit 23 abgespeicherte Korrekturtafel (nicht gezeigt) korrigiert werden. Natürlich kann eine Amplituden- und Phasenkor-

rektur ebenso an den bereits digitalisierten Signalen SIN und COS vorgenommen werden.

Zusätzlich kann die Auflösung der digitalisierten Eingangssignale SIN und COS durch ein in der Signalkonditionierungseinheit 23 implementiertes schnelles, digitales Filter gegenüber der Auflösung der AD-Wandler erhöht und das Quantisierungsrauschen bzw. andere Störungen reduziert werden.

Aus der Signalkonditionierungseinheit 23 werden die fehlerkorrigierten und ausgeglichenen digitalen Zwischensignale SINd und COSd zu einer Berechnungseinheit 30 geleitet.

In der Berechnungseinheit 30 wird aus den beiden Signalen SINd und COSd ein Positionssignal POS erzeugt, welches die Position der Maßstabsteilung 4 über die Zeit wiedergibt. Bei einer Bewegung der Maßstabsteilung 4 relativ zur Signalerzeugungseinheit 7 mit konstanter Geschwindigkeit, also einer linearen Lageveränderung, ist das Positionssignal idealerweise eine Gerade, deren Steigung der Bewegungsgeschwindigkeit entspricht.

Anstelle einer durchgängigen Positionskurve wird aus den Eingangssignalen SIN und COS vorzugsweise ein periodisches Positionssignal POS gebildet, um die Berechnung der Position einfach zu gestalten und den begrenzten Wertevorrat der digitalen Zahlenwerte besser auszuschöpfen. Für eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit weist ein solches periodisches Positionssignal POS im Wesentlichen die Form eines Sägezahns mit einer schrägen und einer senkrechten Flanke auf. Die Periodendauer des Positionssignals entspricht der Periode des SIN- und COS-Signals und der Anstieg des schrägen Astes des Positionssignals POS entspricht der Geschwindigkeit der Bewegung der Maßstabsteilung 4 relativ zur Signalerzeugungseinheit 7.

Das Positionssignal POS kann auf einfache Weise durch Bildung des Arkustangens ( $\arctan$ ) aus dem Quotienten des SINd- und dem COSd-Signals gebildet werden. Es gilt also

$$POS = \arctan (SINd / COSd) \quad (2).$$

Die Berechnung des Arkustangens des Quotienten  $\text{SINd} / \text{COSd}$  kann beispielsweise über eine Look up-Tabelle erfolgen oder über den CORDIC-Algorithmus.

Das Positionssignal POS wird mit einer Genauigkeit von  $i$  Bit berechnet und in sehr kurzer zeitlicher Folge, beispielsweise jede Mikrosekunde, aktualisiert. Nach seiner Berechnung wird das digitale Positionssignal POS an das digitale Filter 13 geleitet.

Das digitale Filter 13 arbeitet mit hoher Taktfrequenz, beispielsweise 1 MHz. Durch das Digitalfilter 13 werden Rauschanteile und höherfrequente Fehleranteile im Positionswort POS reduziert und gleichzeitig die Auflösung des Positionswortes POS von  $i$  auf  $k$  Bit des korrigierten, hochaufgelösten Positionswortes POS' erhöht. Die durch den Filtervorgang entstehende Verzögerung wird durch einen von der bisherigen Signalgeschichte des Positionssignal POS abhängigen Korrekturwert, der dem gefilterten Positionswort aufaddiert wird, kompensiert. Insbesondere kann der Korrekturwert von der bisher gemessenen Bewegungsgeschwindigkeit, die leicht aus ein oder mehreren in einem zeitlichen Abstand bestimmten Positionswerten POS' berechnet werden kann, ermittelt werden.

Das digitale Filter 13 kann verschiedene Filteralgorithmen einzeln oder in Kombination anwenden.

So können hochfrequente Rauschanteile durch Bildung eines gleitenden Mittelwertes von  $q$  aufeinanderfolgenden Werten des Positionssignals POS gebildet werden. In dieser Ausgestaltung wirkt das Digitalfilter 13 als ein Tiefpass-Filter. Dabei ist darauf zu achten, dass das Digitalfilter 13 keine informationstragenden, d.h. für die nachfolgende Regelung bzw. Steuerung relevanten Frequenzen im Positionssignal POS herausfiltert.

Außerdem kann das Digitalfilter 13 signalgeberabhängige Fehler herausfiltern. Hierzu können typische Fehlerkurven von bekannten Positionsmesssystemen experimentell vorab bestimmt und im Digitalfilter 13 abgespeichert werden. Eine solche Fehlerkurve in Form einer Fehlercharakteristik ist in Fig. 3 schematisch als ERR angegeben. Die signalgeberabhängigen Fehler im Positionssignal POS können dann durch Multiplikation im Frequenzbereich mit einer vorab im Digitalfilter 13 gespeicherten Übertragungsfunktion kompensiert werden. Alternativ oder zusätzlich können die Fehlerkurven auch als Zeit-

## 20

reihen oder Frequenzkurven abgespeichert werden, die im Digitalfilter laufend mit dem Verlauf oder dem Frequenzgehalt des Positionssignals POS verglichen werden. Bei einem vorbestimmten Maß an Übereinstimmung zwischen dem Positionssignal POS und der gespeicherten Fehlerkurve kann dann eine vorbestimmte Fehlerkompensation durchgeführt werden.

Durch die Positionsbestimmungseinheit 20 lässt sich die Qualität der Eingangs-Signale soweit verbessern, dass die erhöhte Auflösung des Positionswortes mit  $k$  Bit voll ausgenutzt werden kann.

### Ansprüche

1. Positionsmessverfahren, bei dem aus einem von einem Positionssensor erzeugten Eingangs-Sinus-Signal (SIN) und Eingangs-Cosinus-Signal (COS), ein Positionssignal (POS, POS', POS''), das eine vom Positionssensor gemessene Position repräsentiert, berechnet wird, und wobei in Abhängigkeit vom Positionssignal (POS, POS', POS'') ein Ausgangs-Sinus-Signal (SIN') und ein Ausgangs-Cosinus-Signal (COS') mit jeweils einer gegenüber der Frequenz ( $f_P$ ) der Eingangs-Signale (SIN, COS) vervielfachten Signalperiode ( $f_{P'}$ ) erzeugt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Positionssignal (POS) digital gefiltert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei im Zuge der Filterung aus dem gefilterten Positionssignal ein digitales Positionssignal (POS') mit einer gegenüber dem berechneten Positionssignal (POS) erhöhten Auflösung ( $k$ ) gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei das Positionssignal Tiefpass-gefiltert wird.
5. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei das Positionssignal durch Bildung eines gleitenden Mittelwertes gefiltert wird.
6. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei aus dem Positionssignal signalgebertypische Fehler herausgefiltert werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Positionssignal (POS) durch Verwendung von gespeicherten, signalgeberabhängigen Fehlerkurven (ERR) gefiltert wird.
8. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei das Positionssignal (POS) aus dem Arkustangens ( $\arctan$ ) im Wesentlichen des Quotienten aus dem Eingangs-Sinus-Signal (SIN) und dem Eingangs-Cosinus-Signal (COS) berechnet wird.



9. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei das Eingangssinus-Signal (SIN) und das Eingang-Cosinus-Signal (COS) vor der Berechnung des Positionssignals (POS) fehlerkorrigiert werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei bei der Fehlerkorrektur unterschiedliche Amplituden des Eingangssinus-Signals (SIN) und des Eingang-Cosinus-Signals (COS) ausgeglichen werden.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei bei der Fehlerkorrektur Abweichungen des Offsets im Eingangssinus-Signal (SIN) und/oder Eingang-Cosinus-Signal (COS) von einem Soll-Offset ausgeregelt werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei bei der Fehlerkorrektur Phasenfehler im Eingangssinus-Signal (SIN) und/oder im Eingang-Cosinus-Signal (COS) korrigiert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die Korrekturwerte, mit denen die Fehler im Eingangssinus-Signal (SIN) und/oder im Eingang-Cosinus-Signal (COS) korrigiert werden, aus dem Eingangssinus-Signal (SIN) und/oder dem Eingang-Cosinus-Signal (COS) selbst berechnet werden.
14. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei das Positionssignal (POS, POS', POS'') in Form eines sich im Wesentlichen periodisch ändernden, digitalen Zahlenwertes aus  $k$  Bit erzeugt wird, aus dem ein Teilwort ( $m$ -Wort) aus  $m$  aufeinanderfolgenden Bit ausgelesen wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das  $m$ -Wort zur Adressierung wenigstens einer Ausgangs-Tabelle (16a, 16b) zur Erzeugung der Ausgangs-Signale (SIN', COS') verwendet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Position ( $k_m$ ) des  $m$ -Wortes innerhalb des  $k$ -Wortes durch eine Ausleseeinheit (15) verschoben wird, um die Frequenz der Ausgangs-Signale ( $SIN'$ ,  $COS'$ ) zu ändern.
17. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei die Frequenz der Eingangssignale ( $SIN$ ,  $COS$ ) um einen ganzzahligen Faktor erhöht wird.
18. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei die Frequenz der Eingangssignale ( $SIN$ ,  $COS$ ) in den Ausgangs-Signale ( $SIN'$ ,  $COS'$ ) um den Faktor  $2^{k-k_m}$  erhöht wird.
19. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei die Ausgangs-Signale ( $SIN'$ ,  $COS'$ ) in Abhängigkeit vom Positionssignal ( $POS$ ,  $POS'$ ,  $POS''$ ) aus wenigstens einer Ausgangs-Tabelle (16a, 16b) enthaltend digitalisierte Werte ( $*(0), \dots, *(2^m-1)$ ) einer Sinusfunktion ausgelesen werden.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, wobei zwei, jeweils dem Ausgangs-Sinus-Signal ( $SIN'$ ) und dem Ausgangs-Cosinus-Signal ( $COS'$ ) zugeordnete Ausgangs-Tabellen (16a, 16b) verwendet werden.
21. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei die Eingangssignale ( $SIN$ ,  $COS$ ) von einem Weg- oder Winkelmesssystem (2) erzeugt werden.
22. Verfahren nach einem der oben genannten Ansprüche, wobei die Quadrantenlage eines Referenzsignals ( $REF$ ) relativ zu den Eingangssignalen ( $SIN$ ,  $COS$ ) an die Ausgangs-Signale ( $SIN'$ ,  $COS'$ ) angepasst wird.
23. Positionsmesssystem (1) zur Verarbeitung von Signalen ( $SIN$ ,  $COS$ ,  $REF$ ) eines Positionssensors (1) mit einer Eingangsschnittstelle (21), der im Betrieb ein Eingangssinus-Signal ( $SIN$ ) und Eingang-Cosinus-Signal ( $COS$ ) eines Positionssensors (7) zuführbar ist, mit einer Berechnungseinheit (30), durch die aus dem Eingangssinus-Signal ( $SIN$ ) und dem Ausgangs-Cosinus-Signal ( $COS$ ) ein digitales, eine vom Positionssensor gemessene Position repräsentierendes Positi-

onssignal (POS, POS', POS'') erzeugbar ist, und mit einer Signalerzeugungseinheit (16), durch die in Abhängigkeit vom Positionssignal (POS) ein Ausgangs-Sinus-Signal (SIN') und ein Ausgangs-Cosinus-Signal (COS') mit jeweils einer gegenüber dem Eingangs-Sinus-Signal (SIN) und Eingangs-Cosinus-Signal (COS) vervielfachten Signalperiode erzeugbar ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei ein Register (14), in dem der *atan*-Wert als *k*-Wort in einer Auflösung von *k* Bits ablegbar ist, und eine Adressiereinheit durch die aus dem *k*-Wort ein *m*-Wort aus *m* aufeinanderfolgenden Bits,  $m < k$ , auslesbar ist, vorgesehen sind.
25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, wobei zwischen der Berechnungseinheit (30) und der Eingangsschnittstelle (21) eine Signalkonditionierungseinrichtung (23) angeordnet ist, durch die Signalfehler im Eingangs-Sinus-Signal (SIN) mit Eingangs-Cosinus-Signal (COS) korrigierbar sind.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, wobei zwischen der Berechnungseinheit (30) und dem Register (14) ein Digitalfilter (13) angeordnet ist, durch welches signalgeberabhängige Fehler aus dem Positionssignal (POS) herausfilterbar sind.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, wobei das Digitalfilter (13) im Wesentlichen als ein Tiefpass-Filter ausgestaltet ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, wobei das Positionssignal (POS) vor dem Digitalfilter eine Auflösung von *i* Bit und nach dem Digitalfilter eine Auflösung von *k* Bit aufweist, wobei  $k > i$  gilt.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 27, wobei die Vorrichtung ein Wegmessmittel (2) umfasst, durch das die Eingangs-Signale (SIN, COS) als die Bewegung eines Messmittels (4) repräsentierende Signale erzeugbar sind.

1470/23737 DE-085

2/4

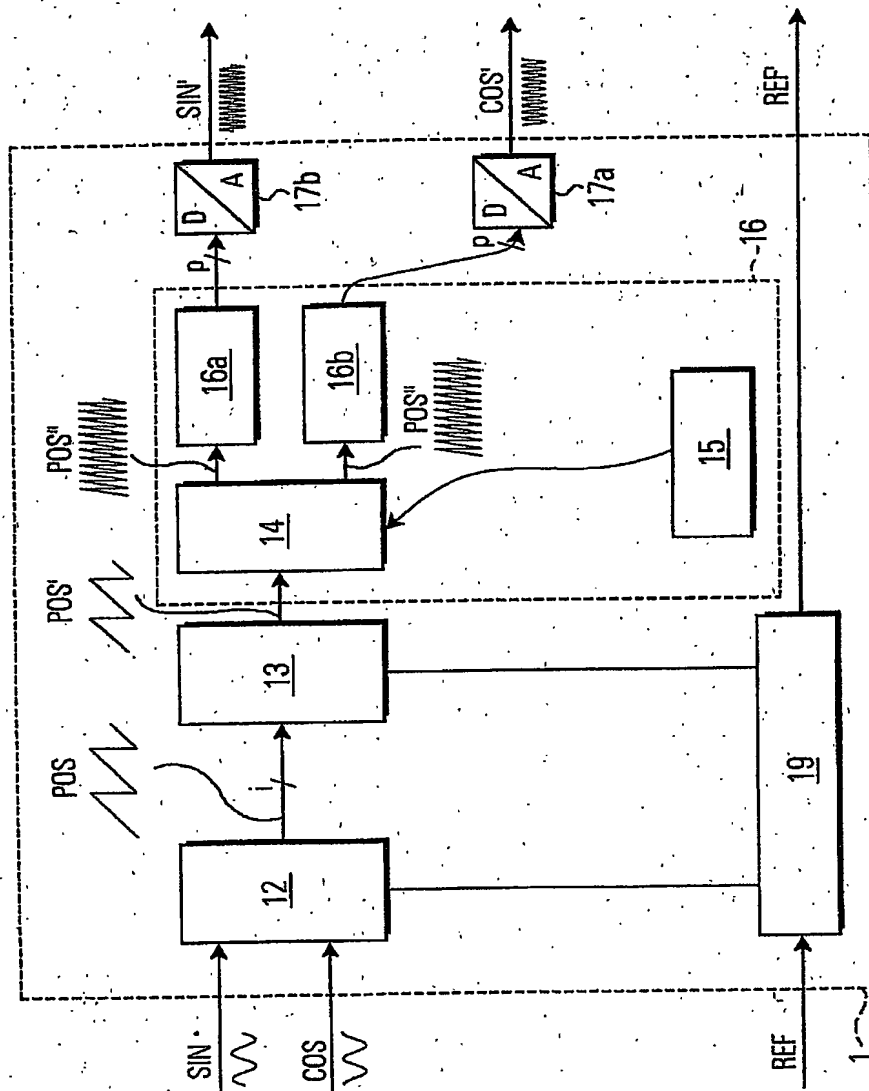


FIG. 2

1/4

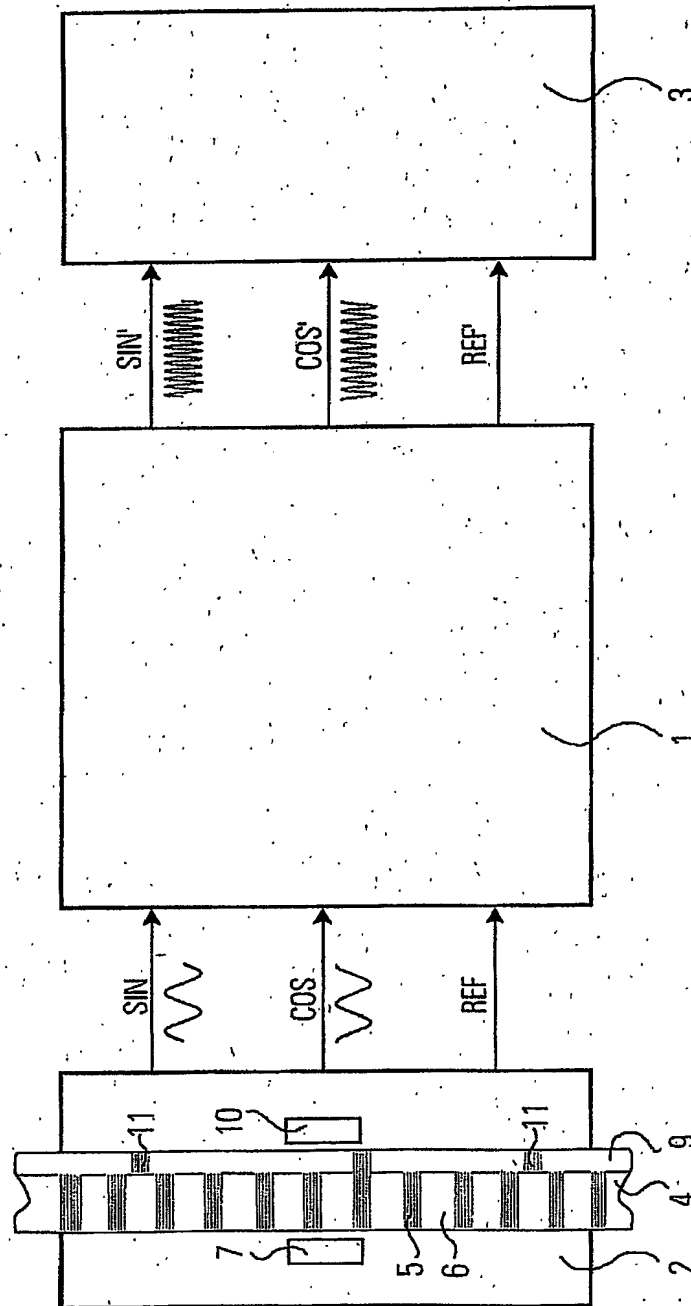
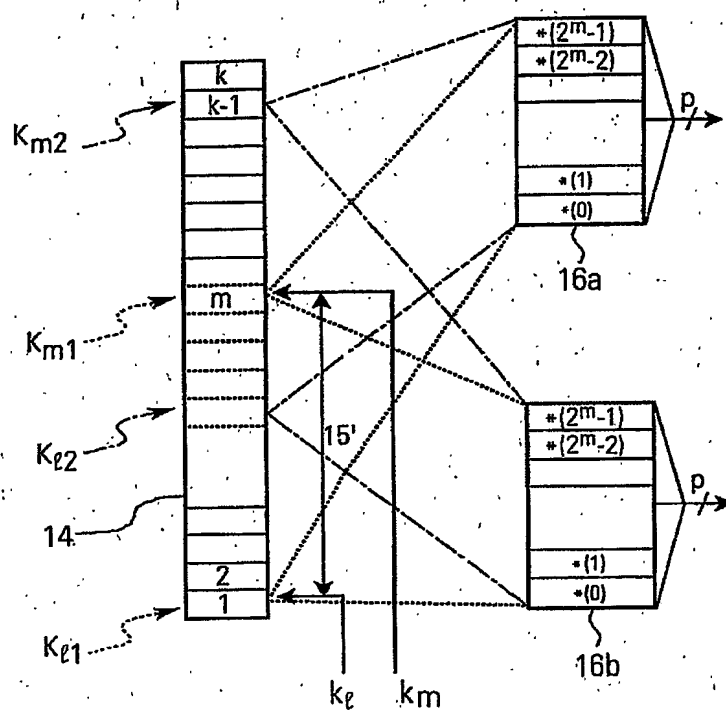


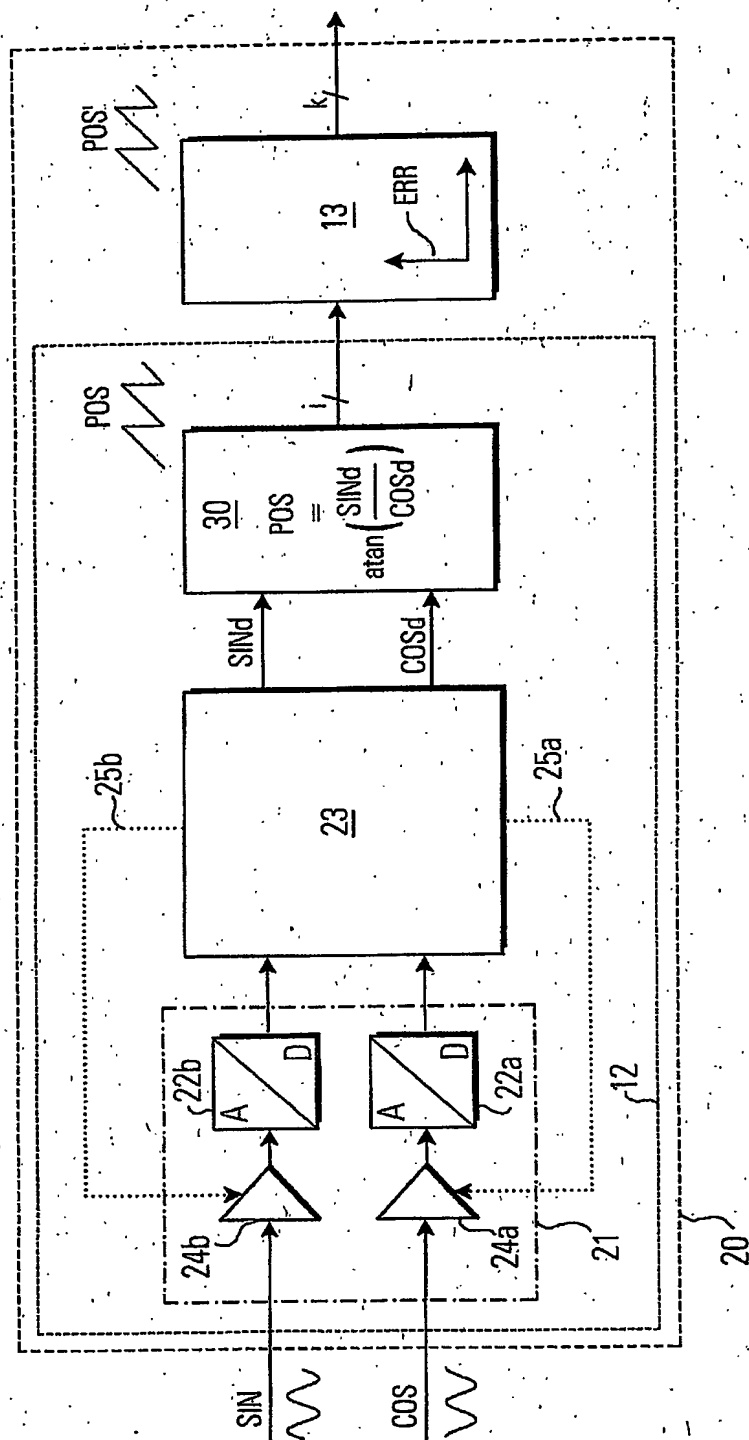
FIG. 1

1470/23737 DE-085

3/4

**FIG.3**

4/4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**